


# 岩石和矿物的物理性质



[苏] H. B. 多尔特曼 主编

科学出版社

18212

P 584  
001

# 岩石和矿物的物理性质

[苏] H. B. 多尔特曼 主编

蒋宏耀 等译



科学出版社

1985

## 内 容 简 介

这是一本全面介绍岩石和矿物物理性质的书。书中论述了实验方法、物理参数测量技术以及岩石和矿物的密度、孔隙度、弹性、磁性、电性、导热性和放射性等性质。分析了岩石、矿物的物理性质同岩石物质成分和形成条件之间的联系。给出了岩石物理学特征及其在地质研究方面应用的可能性。书中还阐述了高压高温和低温条件下岩石和矿物的物理性质。对地壳深层上地幔以及月亮岩石的物理性质也进行了探讨。

本书可供地球物理勘探工作者和高等院校有关专业师生参考。

Н.Б. ДОРТМАН  
ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД И ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ  
МОСКВА «НЕДРА» 1976

## 岩石和矿物的物理性质

[苏] Н. Б. 多尔特曼 主编

蒋宏耀 等译

责任编辑 周文锦

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1985年1月第一版 开本：787×1092 1/16  
1985年1月第一次印刷 印张：24 插页：2  
印数：601—3,408 字数：544,000

统一书号：13031·2766

本社书号：3821·13—14

定价：5.70元

## 译 者 的 话

岩石和矿物的物理性质是地球物理(特别是勘探地球物理)的重要基础资料。了解岩石和矿物的物理性质及其在不同条件下的变化规律,对于物探资料的地质解释、物探新方法的探索、地球内部的物质组成和结构以及天体的研究等,都是十分必要的。

本书系苏联出版的《地球物理工作者手册》中的第一卷,它比较系统而全面地介绍了目前地球物理领域中应用的岩石和矿物的物性参数,测定这些参数的方法,这些参数的数值,岩石物性与岩石的物质组成、结构(还包括岩石的孔隙度和孔隙内的气体、液体成分及其他饱和度等)和岩石所处的温度、压力等条件之间的关系,是当前已出版的、供地球物理工作者使用的岩石物性参考书中一本较好的参考书。

本书由蒋宏耀(前言、绪论、第一章)、刘鹏耀(第二章)、卢贤栋(第三章)、朱志祥(第四章)、韩淑贞(第五章)、周雷铤(第六、七、八、九、十四章)、林中洋(第十、十一章)、于允生(第十二章)、于铭强(第十三章)等同志翻译,欧阳挺、陈英芳、卢贤栋、马丽云参加部分校审工作,最后由唐声煌同志统校。书中的插图是宋志敏同志描绘的。

由于译者水平所限,书中可能有错误之处,敬希读者指正。

译 者

1983.8.28.

## 前 言

这本手册开始了《矿藏》出版社拟定出版一套手册的计划。这套手册，总名为《地球物理工作者手册》。《矿藏》出版社和全体作者期望，这些手册将为地球物理专业工作者、从事地球物理资料解释的地质工作者，从事勘探地球物理理论及方法研究和地球物理仪器研制的科学工作者及设计师，以及在地球科学领域里工作的专家等，提供一套查阅勘探地球物理的参考书。

《地球物理工作者手册》的出版，将取代 1960—1969 年发行的六卷类似的手册<sup>[404, 405, 406, 407, 408, 409]</sup>。从第一卷问世之日起已经过了十六年，而第六卷出版也已七年，按目前科学技术发展的速度来说，资料更新是完全必要的，何况各卷所印的份数早就销售一空了。

在准备这套手册付印时，应用了上次出版准备工作中积累的经验。此外，尽管写作成员变动较大，但由于有很多作者是参与过上次手册的编写工作的，所以对出版这套手册起了不小的作用。

新版不但在所涉课题的广度上，而且在每卷的内容上，都与上一版有显著不同。新版拟出九种手册：① 岩石和有用矿物的物理性质；② 勘探地球物理学中的计算数学和计算技术；③ 重力勘探；④ 磁法勘探；⑤ 电法勘探；⑥ 地震勘探；⑦ 勘探核地球物理学；⑧ 井中地球物理探测；⑨ 地球物理方法的综合应用。

地球物理工作者手册包括用勘探地球物理来解决地质问题所必需的理论和实践的参考资料。它可以使读者避免去找原始资料，又可引导读者在当今大量科学文献中，去寻找最重要的资料来源。地球物理工作者手册还为勘探地球物理领域内的专家提供本学科现状，并帮助他们实际应用该学科所得到的成果。换句话说，全体作者力求使地球物理工作者手册，成为现代科学技术水平情报的基本来源，并在进行地质勘探工作和地壳结构研究的科学考察时，成为能实际应用的有益和必需的参考资料。

地球物理工作者手册将涉及勘探地球物理的各个应用领域：地壳深部结构的区域研究；石油和天然气矿的普查勘探；金属矿区的研究；矿体的普查和勘探；非金属矿的普查和勘探；煤田的研究；工程地质和水文地质调查；以及有关地面、海洋和航空物探工作的报道。

地球物理工作者手册反映出勘探地球物理学发展过程的两个最重要的方向：一是它日益加深的分化和专业化；而另一个则是各种地球物理方法之间，以及地球物理与各种地质和地球化学方法之间的综合研究。今天，地球物理专家的技术水平，就看他是否善于了解地球物理工作的这两个方向，并在实践中将它们巧妙地结合起来。手册的第三卷至第七卷（见上所述），主要是论述第一个方向的，内容包括勘探地球物理学各种方法——重力勘探、磁法勘探、电法勘探、地震勘探及核地球物理勘探的现状及其实际应用的可能性的有关资料。在手册第一、二、八、九卷里，将介绍勘探地球物理学一般的和综合性的问题，以及岩石物理学、地球物理数据的数学处理，井中物探和解决不同的地质任务时地球物理方法的综合应用等问题。整个说来，地球物理工作者手册将是一部完善的基础性书籍，不

过,它只是在成套使用时,才能成为对读者有充分价值的参考书。

在准备新版时,还消除了不同手册中叙述了同一类问题的重复现象。与上版不同,这次不去描述具体的地球物理仪器,而是介绍仪器的结构和作用的基本原理。这是因为地球物理仪器研制的技术进展特别快。由于这个原因以及地球物理仪器的结构越来越复杂,在学习和使用地球物理仪器时,最好阅读专门的详细的规范和说明书。

在向读者介绍了新版的地球物理工作者手册的任务和特点之后,我们认为有必要简要地谈一谈整个手册共同的几个问题。这些问题是:作为一门学科的勘探地球物理学的定义及其在其它地球科学中的地位;勘探地球物理学的主要发展阶段;勘探地球物理学的内部结构及目前的发展方向;勘探地球物理学的现状;地球物理工作的效果。

勘探地球物理学是地球科学中的一门学科它研究的是地壳结构以及人类实际上能够取得的有用矿藏产地。目前开采和勘探的石油及天然气矿,一般深达 5—6 公里,而固体矿藏,则达 1—2 公里。但是,了解整个地壳直到莫霍罗维契奇面(简称莫霍面或 M 面)的结构,对于阐明矿藏分布规律和由此而得出的金属矿的成矿预测,都是必需的。莫霍面把有结晶结构的地壳同下伏的软流层区分开来。在高温高压作用下,软流层里的岩石是处于非晶质状态。莫霍面可用地震勘探方法测定。在大陆它埋深 35—40 公里;在深海盆地底下为 5—6 公里;而在高山(帕米尔,天山,喜马拉雅山)下面,则为 60—70 公里。

勘探地球物理学是地球物理学的一部分。地球物理学,作为关于地球的科学,是用物理的方法来研究地球的结构及其发展。地球物理学各个分支研究的对象,是地球的固体外壳、水圈、气圈以及它们彼此之间和它们与环绕地球的宇宙空间之间的相互作用。

勘探地球物理学提供有关地壳的结构、矿藏的存在和矿藏埋藏的构造特点等大量重要的信息。它对地质科学作出了巨大的贡献,并从根本上改变着地质勘探工作的特点。勘探地球物理学的应用,加快了整个地质勘探工作的全部过程,节省了费用,并使得有可能去发现和研究其它地面地质探测方法达不到的深部矿床。勘探地球物理学对于钻探工作是起着“耳目”的作用,并为它提供必要的初步信息,和勘探钻一起,勘探地球物理学为人类获取地壳深部矿产资源开辟了道路。

勘探地球物理学所具有的巨大工业和经济意义,使它获得迅速而独立的发展。勘探地球物理学的理论、方法和技术,具备了那些有自己的理论及实用意义的独立学科的一切特点。在应用普通地球物理学的概念、结果和方法的同时,勘探地球物理学又把它在解决有重大国民经济意义的实际问题中所取得的大量成果,丰富和充实了普通地球物理学。

勘探地球物理学包括一系列不断发展和不断分化的方法及方向。因此,综合应用勘探地球物理学的各种方法,以及把这些方法与各种地质、地球化学及其他的各种研究方法综合应用,对于解决勘探地球物理学问题,就越来越显得重要。

上述一切都说明,勘探地球物理学目前已是地球科学中的一门学科。它有严格确定的研究对象——地壳。它用独特的物理数学方法去研究地质对象和地质现象。它是各方面都充分发展的在理论和应用上都很重要的一门学科。就研究对象来说,勘探地球物理学与地质学及地球化学的许多领域关系极其密切,而与大地测量学,地理学和天文学关系次之。就研究方法来说,勘探地球物理学与物理学、数学和控制论的很多方面接近。就研究的技术手段来说,勘探地球物理学又与技术的各个分支,特别是无线电电子学、自动化、光学和精密机械密切相关。

三个来源,即地质、物理数学和技术科学,促进了作为一门学科的勘探地球物理学的进展,并构成其发展的基础。

勘探地球物理方法的分类及其相互关系 地球物理学研究的是反映地质体作用于其周围介质的物理场。每个地质体就是其周围空间里的物理场(外场)和其本身内的物理场(内场)的来源。在力、电、热等作用下,地质体成为附加的物理场(弹性振动、电流、热辐射等)源。

勘探地球物理方法,是按所研究的物理场性质来划分的。目前,已知有六种勘探地球物理方法——重力、磁法、电法、地震法、地热法和核物理法。此外,这些方法还可分为自然场(即地球内,其中也包括地壳内发生的现象的结果,而人没有参与这些现象的发生、发展过程)和人工场(即实验者造成的场)两种类型(表1)。人工场方法的分辨力大大高于自然场方法的分辨力。这是由于人们可以建立最佳的人工场,同时还能控制它。

考虑到用地球物理方法研究人工场,需要耗费能量来激发弹性波场、电场、热场和其它的场,这样做不但复杂,而且费用很大,所以这些方法主要用于详查。自然场的方法比较便宜,而且对于地面上很多地方来说,能够得到同类的、可以对比的测量结果,所以用于踏勘普查工作。

勘探地球物理分为野外地球物理测量和井中地球物理测量。野外测量包括地面、海上及航空勘探地球物理方法。井中地球物理测量常简称为“测井”。同样,为了简单起见,代替《勘探地球物理的地震方法》这个名词的是广泛使用的名词《地震勘探》,等等。

对每种勘探地球物理方法,都可用精度  $T$ , 深度  $\Gamma$ , 信息度  $H$ , 分辨力  $PC$  和生产率  $\Pi$  这样一些参数来评价。对各种方法的相应参数进行对比的定性评价结果见表2。符号++表示某种方法的某个参数效果好;符号+相当于效果中等;符号-则表示对该勘探地球物理方法来说,此参数的效果差。

由表2可见,从许多参数来看地震法居于首位。穿过地质体的弹性波,不但载有地质

表1 勘探地球物理方法

方法	方法的类型	
	自然场	人工场
重力法	重力勘探;井中重力测微	
磁法	磁法勘探;磁测井	磁性矿体人工磁化
电法	大地电流法(CI);磁大地电流法(MIT);远距离电场低频测量法(АФМАЛ);自然电场法;自然电位测井(ПС)	直流电法勘探;交流电磁场电法勘探;场电位探测(ЗСТ);电阻率法测井(KC);感应测井(ИК)及介电测井
地震法	地壳结构研究的地震学方法	折射波地震勘探,其中包括对比折射法(КМПВ)反射波地震勘探法(МОБ);定向检波法(РПН),共深点(OIT)多次剖面法;地壳深部地震探测(ГСЗ),包括用转换波;海壳地壳的地震声波探测;地震垂直剖面测量(BCП);声测井(AK)
地热法	井中地热测量;地面红外线测量	井中人工激发过程(气流,水流,水泥固结等)的温度检查
核物理方法	天然放射性辐射,伽玛测井	用中子及伽玛量子照射岩石的活化分析;中子伽玛法(HГМ),中子-中子法及伽玛-伽玛法;用放射性同位素及核辐射源的井中探测

表2 勘探地球物理方法的定性评价

方 法	方法的评价					
	精度	深度	信息度	分辨率	生产率	总分
重力法	++	++	+	+	+	7
磁 法	+	+	++	+	++	7
电 法	+	++	++	+	+	7
地震法	++	++	++	++	+	9
地热法	+	-	+	+	+	4
核物理方法	+	-	++	++	++	7

体内、外界面的信息,而且还载有地质体物理状态的信息,这就构成了地震法的优点。

每一种方法只能提供地质体与该方法所研究的物理场有关的某个方面的信息。重力加速度可从质量方面来判断地质体的分布,热流可从地质体的导热性来判断它们的分布,如此等等。因此,由某种方法提供的被研究的地质体的信息,不可能由另一种方法取得的信息来代替。

勘探地球物理学的主要任务,就是建立研究对象的模型,或者是解所谓地球物理反演问题,即根据从地面、空中、海水层内、钻孔和山地工程中观测得到的物理场值,求地质体的深度、大小、形状、物质矿物成分和其它参数。求解勘探地球物理学的反演问题就是建立地质对象的模型,使在观测点上模型地质体的物理场,与测得的数值最接近。测量误差的存在,观测值中除信号而外有随机干扰的存在,以及已知资料的不足等等,致使勘探地球物理的反演问题成为不适定问题,故其解就不稳定,有时甚至是不确定的。

在求解地球物理反演问题时,还往往遇到从完全不同的地质模型上得到相同观测数据的情况,因而导致多解性。出现得更多的是等价解,即所求地质体的模型,虽其参数可能变化很大,但这些模型所形成的物理场的理论值(计算值)与观测值之差,却在观测误差范围之内。

采用其它地球物理方法以取得补充信息,并同时扩大已知前题条件,可以使所求解的非唯一性和等价性大为减弱。一般地说,不同地球物理方法,其已知前题条件是不一样的。因此,各种方法的综合就可大大提高地质对象模型的完整性和可靠性,可以从多方面来描述这个模型,使之更接近于被研究地质对象的真实状态。

各种勘探地球物理方法的综合应用,是合理地进行地球物理工作的基本原则。为了成功地进行地球物理研究,系统细致地研究工区的所有地质资料和各个地质体的性质,也是很重要的。了解地质情况,不但可以提供有关被研究对象的已知资料,而且还可提供一些补充信息。这些信息,在求解勘探地球物理学反演问题时,也就是根据地球物理观测资料建立待求的或待研究的地质对象模型时,可以而且应当加以利用。

十分重要的是,综合应用各种地球物理方法以及地球物理和地质资料所得到的有用信息,往往要比分别应用这些方法所得有用信息之和要多。这是由于补充的已知资料以及从某种别的方法得来的信息,可以把由主要方法得到的一部分结果(这部分结果当只采用这个主要方法时,却是消极无用的)转化成求解勘探地球物理反演问题时的积极有用信息。

在解决不同地质任务时,各种物探工作合理的综合应用见表3。在该表中,符号++



表 3 勘探地球物理方法解决各种地质问题的定性评价

地球物理研究的地质问题	地球物理研究的地质任务	方 法				
		重力	磁电	地震	地热	核物理
区域调查	研究地壳及上地幔的构造	++	+	++	++	-
	研究固结基底的潜伏地形和构造	++	++	+	++	-
	研究沉积层的结构	+	-	+	+	-
	矿区内结晶岩及喷出岩隐伏岩块的填图	++	++	+	+	-
	地震活动区内为微地震分区而进行的地壳结构的研究	+	+	-	++	-
总 分		8 6 6 9 1 1				
油、气远景区的普查及勘探前的准备	对油、气有远景的背斜构造的普查及勘探前的准备	+	-	+	++	+
	直接找石油及天然气层	+	-	++	++	+
总 分		2 - 3 4 2 1				
正在钻探油、气的钻井中的探测	正在钻进的各钻井剖面的研究	-	-	++	++	++
	查明含油气层	-	-	++	++	++
	确定计算油、气储量所需的参数	-	-	++	++	++
总 分		- - 6 6 2 6				
金属矿床的普查及研究	金属矿构造条件的研究	++	++	++	++	-
	从地面普查及圈定矿体	++	++	++	++	+
	从钻井及坑道中寻找及圈定矿体	-	+	++	++	+
总 分		4 5 6 6 1 2				
固体非金属矿的普查及研究	矿井内煤田的研究	+	-	++	+	-
	煤田勘探	-	-	++	+	+
	找金刚石矿	-	+	+	++	-
	钾盐及硼酸盐矿的普查及研究	+	-	+	+	+
	找云母及压电光学石英	-	-	+	+	-
	建筑材料矿的研究	-	-	+	+	-
总 分		2 1 6 8 - 2				
工程地质及水文地质调查	找地下水	-	-	++	+	+
	水利枢纽及灌溉工程的设计	-	-	++	++	-
	正在施工的输气管线路的研究	-	-	++	-	-
	铁道和公路线的勘察	-	-	++	++	-
	海港及海上钻井基底等的设计	-	-	+	++	-
	居民及工业建筑区永久冻土层的研究	-	-	++	+	-
	总 分		- - 11 9 2 1			
矿山开采区的研究	矿床侧翼和未开采部分的补充勘探	-	+	++	++	+
	研究天然产状下及矿砂中有用组分的含量	-	+	-	-	++
	研究矿井及坑道内的矿山压力	-	-	+	+	-
总 分		- 2 3 3 1 3				
合计总分		16 14 41 45 9 15				

表示在该综合方法中,某种勘探地球物理方法起决定性作用;符号+相当于该方法的作用是一般性的;符号-表示在解决该地质问题时,这个方法实际上不起什么作用。

表 2 和表 3 所列的总分,在某种程度上,既反映各种勘探地球物理方法的能力,也反映已被人们公认的这些方法的实际作用。有意义的是,从两个表的分数来看,居首位的是地震勘探。电法勘探实际公认的能力,显然超过它形式上的、理论上的评价。评价大体相同的有重力法,磁法和核物理方法。核物理方法位置靠后,看来是由于它相对新颖的原故。在两个表中,居末位的是地热法。

勘探地球物理学发展主要的阶段 勘探地球物理学的现状是由其多年的发展而形成的。科学发展的趋势,对决定其进一步发展的方向和发展速度来说,其重要性并不亚于其当时所处的状况。现在,简要地来谈一谈勘探地球物理学经历过的和当前所处的几个发展阶段。

地球物理学作为一门科学,它的发生和发展,可以分为三个时期。

1. 十九世纪中叶以前,个别的发现、想法和研究,为地球物理科学的产生,逐步奠定了基础。

2. 从十九世纪中叶至二十世纪二十年代。在这个时期内,产生了普通地球物理学,在它的范畴内提出而有时还解决了个别的问题。

3. 从二十世纪二十年代到如今,产生和发展了勘探地球物理学。它与其它地质科学互相接近。对于苏联来说,这个时期是在 1919 年开始的,当时,根据列宁签署的革命苏维埃政府法令,组成了研究库尔斯克磁异常特别委员会,广泛地提出了各种地球物理探测方法。

属于第一阶段的有这样一些事实: 如 1640 年在瑞典用罗盘找铁矿; 1753 年罗蒙诺索夫制造和利用静态重力仪来研究地球内部的物质迁移的尝试; 美国富兰克林研究地球电场的试验(1747—1754 年)等。

第二个阶段的特点是有一些比较重要的工作。例如斯米尔诺夫(И.Н.Смирнов)、莱斯特(Э.Е.Лейст)、皮尔契可夫(Н.Д.Пильчиков)和门捷列也夫(Д.И.Менделеев)研究铁矿区域异常的工作; 匈牙利的厄特沃斯(Ервós)创造和利用扭秤作重力详查方面所进行的出色的工作(1896 年); 德国的维赫尔特(Wiechert)和俄国的伽里津(Б.Б.Галицин)创造纪录地震的仪器和方法及其资料处理方面的工作; 法国的施龙贝格(Schlumberger)于 1912 年发明并在后来作了改进的电法勘探和电测井的方法和技术。

第三个时期是以生产上应用地球物理方法来解决一些重要地质问题而开始的。与此同时,该时期还把许多物理、地质、数学及仪器制造工作者吸引到这个工作中来。苏维埃俄国是这个领域的开路先锋。正是在苏联的土地上,在革命和国内战争的复杂条件下,1919 年首先诞生了勘探地球物理学这一学科。大约在这同一时候,德国出现了勘探地球物理学,而美国则稍为晚一点(1922 年)。

在第三个时期已经过去五、六十年里,勘探地球物理学的发展,在苏联和在其他国家是不一样的。在苏联,可以分为五个主要阶段。

在第一个阶段(1919—1933 年),从普查和勘探矿藏这个方面来说,地球物理工作还带有科学试验的性质,虽则它在很多地区都取得了很好的结果。譬如,库尔斯克磁异常上的地球物理工作,就导致世界最富铁矿的发现。用地球物理方法普查和勘探乌拉尔-恩巴地区和阿塞拜疆的油田也获得了重要成果。把地球物理方法推广到研究石油钻井,具有特殊意义,因为它可缩短勘探钻和开采钻的周期,并提高其效果。彼得罗夫斯基(А.А.

Петровский) 首先提出的自然电场法(1922—1924年)和各种交流电场法的工作方法及技术,在普查和勘探金属矿方面,也起了巨大的作用。

在第二个阶段(1934—1941年),地球物理工作以生产性的规模广泛地展开,成立了固定的组织机构,并且在国民经济方面起了重大的作用。用地震勘探来寻找和研究油气远景构造,就是属于这个时期的工作。在这几年里,还探讨了许多新方法,其中必需指出的有:席巴克(В.А.Шпак)于1933年首先提出并研究了放射性测井方法,以及1935年洛加契夫(А.А.Логачев)制成的世界第一台航空磁力仪,从而决定了航空磁测的开端。当时,勘探地球物理方法是用于普查和勘探石油、煤、铁矿、铝土矿、铬铁矿和其它有用矿物,以及对石油和矿藏的远景区,进行深部地壳结构的区域研究。在所有这些领域里,苏联地球物理工作者到卫国战争开始时已积累了不少经验。苏联学者在发展勘探地球物理各种方法方面,作出了重大贡献。这时期已开始在国内高等学校系统地培养地球物理专家。在列宁格勒《地质勘探》工厂创建了我国地球物理仪器制造工作。

第三个阶段(1941—1945年)是处在伟大的卫国战争年代。

由于勘探地球物理学的重大国民经济意义,在艰难的战争年代,苏联勘探地球物理学还在继续发展。勘探地球物理的物质基础,由于战争的结果,受到了巨大的损失。在列宁格勒被包围时,《地质勘探》工厂和地球物理研究中心曾暂时停工。许多高级专家,手持武器参加苏军行列去保卫苏联的自由和独立。地球物理机构完成了勘探石油、铁、锰、铝、锌、锡等战略矿物资源的刻不容缓的重要任务。特别应当指出的是,由于德国法西斯占领军暂时侵占了乌克兰、库班和格罗兹尼部分地区的油田,需要采用地球物理方法在乌拉尔-伏尔加油气区和卡萨克斯坦加紧寻找新油田。这些普查工作导致1944年土依玛津泥盆系油田的发现,从而引起俄罗斯地台东部地区石油工业蓬勃发展。

在各个地方,还建立了地球物理生产组织机构。这些机构,战后就更加巩固发展了,在莫斯科、乌法、格罗兹尼和巴库,又重新组织了地球物理仪器制造业。在1942年建立的国家联合地球物理托拉斯中央科研实验室的基础上,1944年在莫斯科建立了石油工业地球物理研究所,即现在的全苏地球物理勘探方法研究所(ВНИИГеофизика)。高等学校培养干部的工作不但继续进行,而且到战争结束时已大为加强了。

第四个阶段(1946—1966年)的特点,是勘探地球物理学以及地球物理仪器制造方面的科研和生产活动,得到蓬勃发展。出现了一些新的地球物理研究所,其中必需提到的是:列宁格勒全苏勘探地球物理研究所(ВИРГ, 1946—1948年\*)及其阿尔马-阿塔分所(1961年),莫斯科全苏核地球物理及地球化学研究所(ВНИИЯГТ, 1961年),新西伯利亚苏联科学院地质及地球物理研究所(1958年),基辅乌克兰科学院地球物理研究所(1960年),全苏地球物理勘探方法研究所巴库、十月市(Октябрьск)、萨拉托夫、新西伯利亚、格连日克(Геленджик)及克拉斯诺达尔分所。这些分所中有几个后来改为独立的地球物理研究所(十月市、克拉斯诺达尔、格连日克),或者并入各地区的综合地质地球物理研究所(萨拉托夫、新西伯利亚)。

还在列宁格勒、基辅、阿尔马-阿塔,组建了地球物理仪器制造设计局。

勘探地球物理学第四个发展阶段突出的特点,是生产上的应用大幅度增长。石油、天

\* 原文为1959年,应在1946年至1948年之间。——译者注

燃气、金属矿、非金属矿方面的物探工作量增加了几十倍。在这个阶段，物探工作在整个地质勘探工作中的比重由百分之几增加到20%。由于苏联国民经济管理体制的变化以及物探工作量的增长，经过一系列改组之后，到1967年，就确定了大部分地球物理普查及勘探工作集中在苏联地质部（三分之二的石油及天然气物探工作，苏联各地区区域研究和各种类型有用矿物普查的全部物探工作，勘探地球物理的科研和试验设计工作）和石油工业部（石油及天然气田普查和勘探方面三分之一的物探工作，油田开发中的地球物理测量，科研和试验设计工作）这样的组织形式。在第四个阶段，实际上已为地球物理勘探各方面的工作，制成了几十种不同的仪器。

应当指出的是：1961—1970年，地震勘探在技术上已完全用模拟磁带记录仪更新装备，制造了能在苏联全部国土上有计划地进行1:200,000磁测的航空磁法仪器，研制并生产了放射性测量仪器和其它核地球物理仪器，各种类型的重力、电法和测井仪器，这些仪器在相当大的程度上是自动化的。也就是在这个阶段，开始掌握数字技术，先是用来处理资料，而后用来记录地球物理测量数据。在使用БЭСМ-2、БЭСМ-4、БЭСМ-6、М-222、Минск-2、Минск-22、Минск-32等型号的国产中型计算机的基础上，建立了首批专门地球物理计算中心。开始了系统的海上地球物理深测，建造了用专门海洋地球物理仪器装备的勘探船，并投入使用；在里加和格连日克成立了全苏海洋地质及地球物理研究所（ВНИИМОРГЕО）。出现了许多勘探地球物理专业生产队伍。就很熟练的专家数量而言，苏联这个时期居世界前列。

第五个阶段，从1967—1968年开始一直到现在。在这个阶段，物探工作也如整个地质勘探工作一样，得到不断的加强，而且其技术水平和效果，也进一步地提高。高速发展的苏联国民经济对矿物资源的需要越来越多，因此，亟需扩大深部及复杂地质条件下以及边远地区矿物资源的普查与勘探。这一切都要求进一步提高勘探地球物理的科学技术水平。于是，过去一直使用的地震模拟磁带记录和单次地震剖面观测方法，在普查和准备勘探复杂地震地质条件下的油气远景构造时，就显得完全不够了；要求进一步改进石油及天然气钻井中的各种地球物理测量，以及进行观测和观测结果处理的自动化。对于所有的地球物理方法来说，都需要最广泛地应用原始资料数字记录，并在计算机上处理这些资料，因为，在地球物理测量精度越来越高和勘探深度越来越深的今天，不得不更经常地测量大小与干扰差不多的讯号。综合应用各种类型地球物理和地质工作，作用很大。此外，具有重要意义的还有岩石物性研究。近十年来，岩石物性研究获得了广泛发展，而且也是综合解释岩石学资料及地球物理资料的基础。在勘探地球物理学发展的现阶段，加速物探科学技术的进展，提高地球物理勘探的质量，特别是提高物探工作的效果等问题，已被提到首要地位。

勘探地球物理学的现状 目前在苏联，用物探方法研究地壳深部结构，普查和勘探有用矿物等方面，已得到广泛发展。在近两个五年计划（1966—1975年）地质勘探工作的投资中，每五个卢布就有一个是用于物探工作。十年来，石油和天然气所增加的探明储量，有十分之九是来自有地球物理工作者参与勘探工作的地区。在发现和研究金属矿（铁、铜、镍、铬、锡、铝土、钨、多金属矿、金）以及固体非金属矿（金钢石、钾盐、磷灰石）方面，地球物理工作者也作出了很大的贡献，虽则这些贡献并不像普查和勘探石油及天然气那样地巨大。准备煤矿采区，也靠广泛使用地球物理方法。地球物理测量在开拓大陆架和世

界海洋的矿物资源而进行的海底和洋底研究中,起了重要作用。在工程地质及水文地质调查中,越来越广泛地应用地球物理方法。在开发矿物资源时,地球物理方法还在采矿工程中被用来研究坑道的状态,测定毛矿中有用组分的含量以及矿床两侧的补充勘探。

勘探地球物理学在苏联这样广泛地发展,是和国家的国民经济按计划增长及其对矿物资源与日俱增的需要分不开的。由于苏联地球物理学涉及的有用矿物种类之广,方法之多,应用上的计划性和所得资料的效果好等方面的原因,近年来,它已跃居世界首位。

在发达的资本主义国家里,地球物理方法在地质方面的应用,也取得了很大成绩,制造了第一流地球物理仪器,有很熟练的地球物理专家。但是,在部署和实施地质勘探工作时缺乏计划性,以及资本主义企业间存在的隔阂和竞争,就在他们那里造成了不能在普查及勘探有用矿物时,充分利用勘探地球物理学这样先进的科学技术手段的前提条件。在石油和天然气方面,美国正在进行最有效的地球物理勘探工作,但他们在区域地球物理调查方面相当落后,而用地球物理方法普查和勘探固体矿床、特别是金属矿的工作量,也不太大。在这个领域里资本主义国家中占第一位的是加拿大,但加拿大在石油和天然气物探工作方面,没有特别的成就,而其区域地球物理调查,还不如美国那样发达。在法国、德意志联邦共和国、瑞典、大不列颠和其他资本主义国家,也可举出勘探地球物理个别问题上的出色研究成果及其实际应用成功的例子,但其规模、应用领域和物探方法使用的综合性等方面,都不能同美国和加拿大相比较,更不用说同苏联比较了。

和科学技术其它领域一样,勘探地球物理学的进展也具有国际性。通过交流先进经验,苏联地球物理工作者既可从我们的朋友那里,也可从发达的资本主义国家专家那里学到很多东西。其中首先是地球物理仪器这一领域,以及地球物理测量方法及其处理方法方面的先进经验。可是,由于我们碰到的问题越来越新,越来越复杂,因而不得不依靠苏联专家的集体创造性努力来解决这些问题。

苏联的建设给勘探地球物理学提出了愈来愈新的科研及实践方面的问题,其中许多问题,在国际上还从来没有实践过,其它一些问题,虽则国外某些国家正在研究,但尚未得到满意的解决。例如,西伯利亚地台含油气区的区域研究,盐层内油气远景构造的普查和勘探,直接找油气层,找深部及未出露地表的矿体,地震活动区深部结构的研究以便为微地震分区提供依据,冰盖下北极地区大陆架的研究,以及其它等问题。这些问题要求我们经常不断地改进勘探地球物理方法,迅速地把科学技术成果运用到生产中去,更加全面地运用我们掌握的各种可能性。

物探工作的效果有很重要的意义。地球物理勘探应被视为普查和勘探矿产资源的地质勘探工作不可分割的组成部分。

目前,大家都认为各种有用矿物的探明储量与其普查勘探费用之比是地质勘探工作经济效果的主要指标。这个比值的分母,即普查勘探费用中,也包括物探工作费用,正如上面已经指出的那样,它约占地质勘探工作总费用的20%。应用勘探地球物理的意义也和应用其它某些类型地质勘探工作(地质填图、空间测量、地球化学和地质科研)一样,在于为勘探人员提供有关资料,以便能大大缩减费用昂贵的钻探和山地工程的工作量。而钻探及山地工程的费用,目前约占石油及天然气田勘探费用的三分之二,占其它类型矿产勘探费用的二分之一。

因此,提高物探工作的效果,就在于用最小的费用取得大量的有用信息,并将这些

信息用地质对象模型的形式表示出来。深入研究这一要求,就可弄清许多情况。譬如说,效果最好的往往就是费用最高的物探工作。例如,多次地震剖面测量与单次剖面测量相比,能取得多得多的甚至是完全新的信息。还可以看到按一定顺序进行各阶段地质勘探工作、其中包括物探工作的必要性:首先应是区域工作,其次是普查,只有作了这些工作之后才能进行详查。从原始野外资料中充分提取有用信息的阶段是非常重要的,这项工作应由熟练的人员极其细致地来做。此外,还对地质及地球物理工作人员之间的协作提出了一些新的要求,要求他们互相交换所得的资料,以便取得解决地质任务所必需的事前和事后的补充材料。

总的来说,要提高物探工作的效果,就意味着要提高其科学技术和组织管理的水平,提高精度、深度、分辨力、信息率和生产率这样一些物探工作的主要指标。所有这些就给勘探地球物理学领域里的科研及试验设计工作指出了重要目标,并决定其科学技术发展的方向。

# 目 录

译者的话	
前言	v
绪论	1
第一章 岩石物理的研究方法	4
§1 研究物性的方法	4
§2 测量高温高压下岩石物性参数的仪器和方法	7
§3 野外条件下的岩矿采样	9
§4 物性测定数据的统计处理	11
§5 岩石物理平面图及剖面图的绘制	15
第二章 岩石的密度和孔隙度	20
§6 物体的密度和孔隙度	20
§7 密度和孔隙度的测量方法	22
§8 化学元素和矿物的密度	26
§9 岩浆岩的密度	32
§10 变质岩的密度	42
§11 沉积岩的密度和孔隙度	46
§12 高温高压下的岩石密度和孔隙度	58
第三章 岩石的弹性	63
§13 固体的弹性参数	63
§14 弹性参数的测定方法	64
§15 化学元素和矿物的弹性波传播速度及弹性模量	67
§16 岩浆岩及变质岩的弹性波传播速度及其弹性模量	72
§17 沉积岩的弹性	79
§18 高温高压下矿物与岩石的弹性	83
第四章 岩石的磁性	93
§19 物体的磁参数	93
§20 确定磁参数的方法和仪器	96
§21 化学元素和矿物的磁性质	101
§22 火成岩的磁性	106
§23 变质岩的磁性	122
§24 沉积岩的磁性	126
§25 岩石的古磁特性	130
§26 高温和高压下矿物和岩石的磁性	133
第五章 岩石的电性	138
§27 物质的电性	138
§28 岩石电参数的测定方法	140

§ 29	化学元素、矿物和岩石的电阻率	144
§ 30	矿物和岩石的介电常数	157
§ 31	矿物和岩石的压电效应	163
§ 32	岩石的自然极化与激发极化	168
§ 33	高温高压下的岩石电性	172
<b>第六章</b>	<b>岩石的热学性质</b>	<b>181</b>
§ 34	物体的热物理参数	181
§ 35	热物理参数的测定方法	182
§ 36	岩石和矿物的热物理性质	184
§ 37	高温高压下矿物和岩石的热物理性质	193
<b>第七章</b>	<b>矿物和岩石的核物理(放射性)性质</b>	<b>200</b>
§ 38	基本的核物理过程、参数和放射性测量单位	200
§ 39	放射性和放射性元素含量测定的方法	205
§ 40	天然放射性和地壳矿物中主要放射性元素的含量	210
§ 41	用于核地球物理学中的人工放射性	223
<b>第八章</b>	<b>冻结岩石的物理性质</b>	<b>226</b>
§ 42	冻结岩石的电学性质	226
§ 43	冻结岩石的弹性和密度	234
<b>第九章</b>	<b>岩石的综合物理特性</b>	<b>245</b>
§ 44	岩石物理分类和分组; 物理参数的相互关系	245
§ 45	岩石的物理分类	248
<b>第十章</b>	<b>地壳的区域岩石物理特征</b>	<b>254</b>
§ 46	地台和拗曲地沉积盖层物理特征的区域性变化	254
§ 47	岩浆岩建造的岩石物理特性	271
§ 48	地盾和褶皱区的区域岩石物理特性	281
§ 49	洋底岩石的物理性质	288
<b>第十一章</b>	<b>地壳深层和上地幔的物理特性</b>	<b>293</b>
§ 50	地球内部物理性质的预测和研究方法	293
§ 51	地球深部的综合物理特征	299
<b>第十二章</b>	<b>含石油和天然气岩石的物理性质</b>	<b>308</b>
§ 52	储石油和天然气层的层间水的物理性质	308
§ 53	石油、气层及围岩的物理性质	312
<b>第十三章</b>	<b>固体矿物的物理特性</b>	<b>322</b>
§ 54	金属矿物的物理特性	322
§ 55	非金属矿物的物理特性	347
§ 56	煤的物理特性	355
<b>第十四章</b>	<b>月球壳层岩石的物理性质</b>	<b>361</b>
§ 57	月岩的基本特征	361
§ 58	月岩的物理性质	362



## 绪 论

大幅度地扩大国家的原料资源和提高劳动生产率这一国民经济任务，要求在地质工作的各个阶段——从区域调查到矿床的普查勘探、都广泛地采用地球物理方法。现代勘探地球物理学理论和技术的高度发展，以及它在物理学和技术科学成就的基础上进一步完善的前景使得能够给地球物理学提出越来越新和越来越复杂的任务。当前，这类任务之一，就是加强物探工作中岩石物理学方面的研究。

从地质学角度来说，岩石物理学是一个研究岩矿物性的领域。研究岩矿物性，是为了研究地壳的地质发展史、各个区域的地质结构和有用矿物的普查与勘探。地质体详尽的岩石物理特性，乃是构造地球物理学的基础，这就是说，它为更好地解决地壳深部结构和区域地质构造的研究，局部构造的普查，深部地质填图，储油气层、矿床和煤层的结构及厚度的确定等问题，创造了条件。

物理性质——密度、弹性、导电性、导热性、磁性、放射性等，是物质（固态、液态、及气态）固有的特性。大多数有用矿物具有一些特殊的异常的物理性质它们广泛应用于工业和技术的各个领域。研究物质的物性，是固体物理学、液体物理学和气体物理学及其分支学科，如磁学、电学、热学之类的任务。在各个科学技术领域里，研究物质的各种物性和参数，主要是为了在工业上应用。在地质和地球物理学中，为了研究岩矿的形成过程而进行的物性研究是独特的，它们的任务、理论和方法都有自己的特点，从而分出岩石物理学这一分支。

岩石物理学是地球物理学不可分割的组成部分，它与材料物理学和岩石学关系极其密切。在岩石的众多物性中，岩石物理学所研究的主要是形成物理场的物性，而这些物理场是可以用地球物理方法来测量的。用航空地球物理测量、地面测量及井中探测来测定天然产状条件下和地下深部各种地质体的物理特性的可能性，扩大了地球物理应用的领域及其所能解决问题的范畴。用实验室方法研究岩石和矿物的物性及参数，并同时进行岩石学和矿物学方面的研究，再加上外部因素的改变，所有这一切，就决定了岩石物理学理论研究的可能性。

岩石的物性是由系统的内能以及温度、压力、地磁场这类外因的影响所决定的。从岩浆岩、变质岩以及沉积岩的矿物骨架中，可以观察到物性与组成这些岩石的矿物的晶体化学有密切关系，而晶体化学又取决于物质的原子结构。不同质的物性，是由原子的内外电子轨道结构；电子壳层的特点和原子核的质量；以及核的结构等所决定（图1）。元素的一系列物理性质，具有周期性的变化，而这种变化是与它们的化学性质按门捷列也夫周期表的顺序变化相对应。由于这种种关系，岩石的物性是它们形成的条件及随后所有的变化的函数；同时，物性又在相当大的程度上决定地质过程（岩浆活动、变质作用及成矿过程）的进程。例如，地壳和上地幔的密度（重力）差别，引起一系列地壳构造运动，并给岩石的岩浆分异及变质作用的性质和程度以显著的影响。在各种类型的断裂和褶皱的形成和发